

Задачи для самостоятельного решения

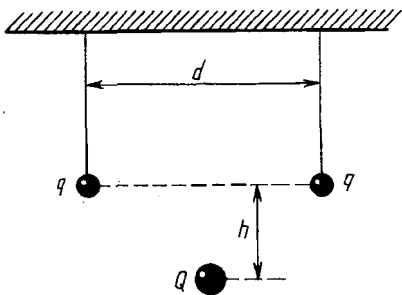
521. В воздухе на тонкой непроводящей нити подвешен шарик массой $m = 2,0$ г, имеющий заряд $q_1 = 20$ нКл. Снизу на расстоянии $r = 50$ мм по вертикали от него укреплен одноименный заряд $q_2 = 120$ нКл. Точка подвеса, заряд и шарик находятся на одной прямой. Определить силу натяжения нити.

522. Два одинаковых точечных заряда $q_1 = 2$ нКл находятся в воздухе на расстоянии $r = 15$ см друг от друга. С какой силой они действуют на заряд $q_2 = 6$ нКл, находящийся на таком же расстоянии от каждого из них?

523. Два заряженных шарика, находящихся на расстоянии $r = 60$ см друг от друга в вакууме, притягиваются с силой $F = 0,3$ Н. Суммарный заряд шариков $Q = 4$ мкКл. Определить заряд каждого шарика. Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 1/(4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)$ Ф/м.

524. В каждой вершине квадрата находится положительный заряд q . Какой заряд следует поместить в центре квадрата, чтобы система зарядов находилась в равновесии?

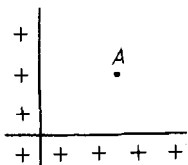
525. Два одинаковых шарика, имеющих одинаковые заряды $q = 3,3 \cdot 10^{-6}$ Кл, подвешены на одной высоте на тонких невесомых нитях равной длины (рис. 168). На одинаковом расстоянии от этих шариков и на $h = 20$ см ниже их расположен заряд Q . Определить этот заряд, если известно, что нити висят вертикально, а расстояние между ними $d = 30$ см.



Р и с. 168

526. В двух противоположных вершинах квадрата со стороной $a = 30$ см находятся заряды $q = 2 \cdot 10^{-7}$ Кл. Найти напряженность электростатического поля в двух других вершинах квадрата.

527. Расстояние между зарядами диполя $l = 2$ мкм, а напряженность поля в точке, удаленной от каждого заряда на расстояние $d = 1$ см, $E = 2$ В/м. Вычислить модуль зарядов диполя.



Р и с. 169

528. Две бесконечные одноименно и равномерно заряженные плоскости пересекаются под прямым углом (рис. 169). Найти напряженность электростатического поля в точке A , расположенной вблизи линии пересечения. Поверхностная плотность заряда $\sigma = 1,0 \cdot 10^{-9}$ Кл/м² и одинакова для обеих плоскостей. Плоскости находятся в воздухе ($\epsilon = 1$). Электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

529. По поверхности проводящего шара равномерно распределен заряд с поверхностной плотностью σ . Найти напряженность поля в точке, находящейся от поверхности шара на расстоянии, равном его диаметру. Электрическая постоянная равна ϵ_0 .

530. Шарик массой $m = 0,1$ г, имеющий заряд $q = 9,8$ нКл, подвешен на нити в однородном электростатическом поле, напряженность которого направлена горизонтально, а ее модуль $E = 1 \cdot 10^5$ В/м. Найти угол отклонения нити от вертикали.

531. В двух вершинах равностороннего треугольника помещены одинаковые заряды $q_1 = q_2 = q = 4$ мкКл. Какой точечный заряд необходимо поместить в середину стороны, соединяющей заряды q_1 и q_2 , чтобы напряженность электростатического поля в третьей вершине треугольника оказалась равной нулю?

532. Два разноименных заряда, модули которых $|q|$ одинаковы и равны $1,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, расположены в двух вершинах правильного треугольника со стороной $a = 2,0$ м. Определить напряженность и потенциал электростатического поля в третьей вершине треугольника. Окружающая среда — воздух ($\epsilon = 1$).

533. В вершинах квадрата со стороной a расположены четыре заряда: два из них положительные и два отрицательные, модули зарядов одинаковы и равны q . Определить напряженность электростатического поля в точке пересечения диагоналей квадрата. Рассмотреть все возможные случаи.

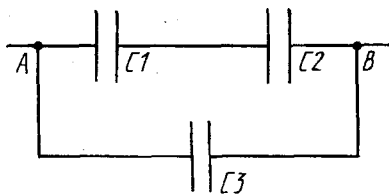
534. Какая работа совершается при перенесении точечного заряда $q = 2 \cdot 10^{-8}$ Кл из бесконечности в точку, находящуюся на расстоянии $r = 1$ см от поверхности про-

водящего шара радиуса $R = 1$ см с поверхностной плотностью заряда $\sigma = 1 \cdot 10^{-9}$ Кл/см²?

535. Металлический шар радиуса $R_1 = 5,0$ см заряжен до потенциала $\varphi = 150$ В. Чему равна напряженность поля в точке, находящейся на расстоянии $r = 10$ см от поверхности шара? Какова будет напряженность поля в этой точке, если данный шар соединить тонкой проволокой с незаряженным шаром, радиус которого $R_2 = 10$ см, а затем второй шар убрать?

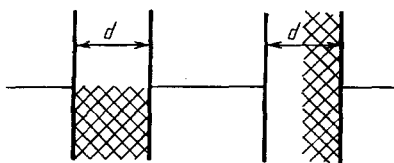
536. Какую работу требуется совершить для того, чтобы два одноименных заряда $q_1 = 2$ мкКл и $q_2 = 3$ мкКл, находящихся в воздухе ($\epsilon = 1$) на расстоянии $r_1 = 60$ см друг от друга, сблизить до расстояния $r_2 = 30$ см?

537. В цепи, показанной на рис. 170, разность потенциалов между точками A и B $U = 250$ В. Емкости конденсаторов $C_1 = 1,5$ мкФ, $C_2 = 3,0$ мкФ, $C_3 = 4,0$ мкФ. Найти суммарный заряд на обкладках конденсаторов C_1 , C_2 и C_3 .



Р и с. 170

538. Найти емкость батареи, состоящей из двух последовательно соединенных конденсаторов (рис. 171), если известны площадь S каждой обкладки конденсатора, расстояние d между



Р и с. 171

обкладками каждого из конденсаторов, диэлектрическая проницаемость ϵ изолятора, заполняющего половину конденсатора (краевые эффекты во внимание не принимать).

539. Какой электрический заряд пройдет по проводам, соединяющим обкладки плоского конденсатора с зажимами аккумулятора, при погружении конденсатора в керосин? Площадь пластины конденсатора $S = 150$ см², расстояние между пластинами $d = 5,0$ мм, ЭДС аккумулятора $\mathcal{E} = 9,42$ В, диэлектрическая проницаемость керосина $\epsilon = 2,1$.

540. Конденсатор емкостью $C_1 = 2$ мкФ заряжают до напряжения $U_1 = 110$ В. Затем, отключив от источника

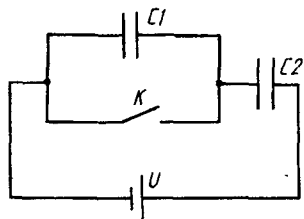
тока, замыкают этот конденсатор на конденсатор неизвестной емкости, который при этом заряжается до напряжения $U_2 = 44$ В. Определить емкость второго конденсатора.

541. Плоский воздушный конденсатор, расстояние между обкладками которого $d_1 = 1$ см, зарядили до разности потенциалов $U_1 = 100$ В, а затем отключили от источника напряжения и раздвинули обкладки до расстояния $d_2 = 2$ см. Определить разность потенциалов между обкладками после того, как их раздвинули.

542. Конденсатор емкостью $C_1 = 3$ мкФ заряжен до разности потенциалов $U_1 = 300$ В. Конденсатор емкостью $C_2 = 2$ мкФ заряжен до разности потенциалов $U_2 = 200$ В. Разноименно заряженные обкладки конденсаторов соединили попарно. Определить среднюю силу тока, возникшего при соединении конденсаторов, если длительность его прохождения $\tau = 1$ с.

543. На дне широкого сосуда с жидким диэлектриком, диэлектрическая проницаемость которого ϵ , закреплена пластина конденсатора. Другая пластина, имеющая вид бруска высотой H , плавает над ней в диэлектрике. Площади пластин одинаковы и равны S . На каком расстоянии от поверхности жидкости будет находиться нижняя плоскость бруска, если на пластины подать одинаковые по модулю, но противоположные по знаку заряды q ? Плотность жидкости ρ_1 , плотность бруска ρ_2 ($\rho_1 > \rho_2$). Поле между пластинами считать однородным.

544. Два одинаковых конденсатора соединили параллельно, зарядили до напряжения U_1 и отключили от источника. Каким стало напряжение на конденсаторах, когда в один из них ввели пластину с диэлектрической проницаемостью ϵ , заполняющую весь объем конденсатора?



Р и с. 172

545. На рис. 172 показана электрическая цепь, в которой напряжение источника $U = 10$ В, а конденсаторы C_1 и C_2 имеют одинаковую емкость: $C_1 = C_2 = C = 10$ мкФ. Какой заряд пройдет через источник после замыкания ключа К? Каким станет при этом заряд конденсатора C_1 ?

546. Между вертикальными пластинами плоского воздушного конденсатора подвешен на тонкой шелковой нити маленький шарик, несущий заряд $q_0 = 3,0$ нКл. Какой заряд надо сообщить конденсатору, чтобы нить составила с вертикалью угол $\alpha = 45^\circ$? Масса шарика $m = 4,0$ г, площадь каждой пластины конденсатора $S = 314$ см².

547. В электростатическом поле плоского воздушного конденсатора, пластины которого расположены горизонтально, находится во взвешенном состоянии капелька масла, несущая заряд, равный заряду электрона. Определить радиус капельки, если разность потенциалов между пластинами конденсатора $U = 5 \cdot 10^3$ В, расстояние между пластинами $d = 5 \cdot 10^{-4}$ м, плотность масла $\rho = 900$ кг/м³. Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

548. Заряженный шарик массой $m = 1,5$ г, прикрепленный к невесомой изолирующей нити, покоится в однородном горизонтальном электростатическом поле; при этом нить отклонена от вертикали на угол $\alpha = 30^\circ$ (рис. 173). Затем направление поля мгновенно изменяется на противоположное. Найти силу натяжения нити в момент максимального отклонения нити от вертикали после переключения поля.

549. Два одноименно заряженных шарика массой $m = 0,50$ г каждый подвешены в вакууме на очень тонких невесомых, нерастяжимых и непроводящих нитях одинаковой длины (рис. 174). Каждая из нитей образует с вертикалью угол $\alpha = 30^\circ$. Затем вся система погружается в неэлектропроводящую жидкость, плотность которой равна плотности материала шариков, а диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 2,0$. Найти силу натяжения нитей после

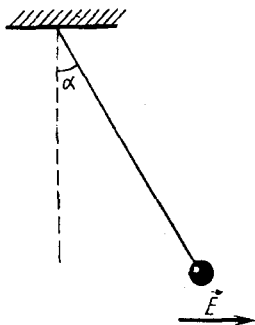


Рис. 173

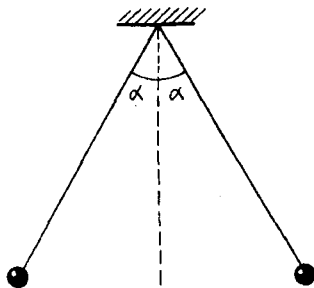


Рис. 174

погружения в жидкость. Каков характер равновесия шариков?

550. Шар, диаметр которого $d = 1$ см и заряд $q = 1 \times 10^{-6}$ Кл, помещен в масло плотностью $\rho_1 = 0,8 \cdot 10^3$ кг/м³. Плотность материала шара $\rho_2 = 8,6 \cdot 10^3$ кг/м³. Определить направленную вертикально вверх напряженность электростатического поля, в которое надо поместить шар, чтобы он плавал в масле.

551. Как изменится ускорение падающего шарика массой $m = 4,0$ г, если ему сообщить заряд $q = 3,2 \cdot 10^{-8}$ Кл? Напряженность электрического поля Земли $E = 120$ В/м и направлена вертикально вниз.

552. Между пластинами плоского конденсатора, расположенного горизонтально, на расстоянии $l = 0,8$ см от нижней пластины «висит» заряженный шарик. Разность потенциалов между пластинами $U_1 = 300$ В. Через сколько секунд шарик упадет на нижнюю пластину, если разность потенциалов мгновенно уменьшится до $U_2 = 240$ В?

553. В вакууме между пластинами заряженного плоского конденсатора находится в состоянии равновесия заряженный шарик. Найти ускорение, с которым будет двигаться этот шарик после увеличения расстояния между пластинами на 10%. Ускорение свободного падения $g = 9,81$ м/с².

554. В горизонтально расположенном плоском воздушном конденсаторе, заряженном до разности потенциалов $U = 1$ кВ, от положительно заряженной верхней пластины по направлению поля двигалась без начальной скорости частица с зарядом $q = 0,1$ нКл. Когда она прошла некоторое расстояние, полярность пластин была мгновенно изменена на противоположную. Когда частица все же достигла нижней пластины, она обладала кинетической энергией $W_k = 6 \cdot 10^{-8}$ Дж. Расстояние между пластинами $d = 2$ см. Какое расстояние прошла частица к моменту изменения полярности пластин? Силой тяжести, действующей на частицу, пренебречь.

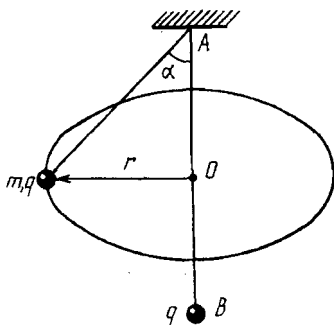
555. Анодное напряжение двухэлектродной электронной лампы (диода) $U = 180$ В. С какой скоростью электрон подлетает к аноду, если начальная скорость электрона (вблизи катода) равна нулю? Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

556. Электрон влетел в плоский конденсатор, находясь на одинаковом расстоянии от каждой пластины и имея скорость $v = 1 \cdot 10^7$ м/с, направленную параллельно пластинам. Расстояние между пластинами $d = 2$ см, длина каждой пластины $l = 2$ см. Какую наименьшую разность потенциалов нужно приложить к пластинам, чтобы электрон не вылетел из конденсатора? Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, его масса $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

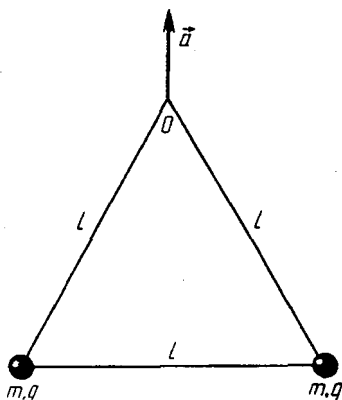
557. Заряженный шарик массой $m = 10$ г, подвешенный на изолирующей нерастяжимой нити, движется с постоянной угловой скоростью $\omega = 10$ рад/с по окружности радиуса $r = 5,0$ см (рис. 175). Под точкой подвеса A находится другой, неподвижный заряженный шарик B , причем расстояния AO и BO до центра окружности O одинаковы, а угол $\alpha = 45^\circ$. Заряды обоих шариков одинаковы. Найти эти заряды.

558. Электрон влетел в однородное электростатическое поле напряженностью $E = 1 \cdot 10^4$ В/м со скоростью $v_0 = 8$ Мм/с перпендикулярно силовым линиям. Вычислить модуль и направление скорости электрона в момент времени $t = 2$ нс. Масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, заряд $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

559. Два одинаковых заряженных шарика, масса каждого из которых $m = 10$ г, а заряд $q = 5 \cdot 10^{-7}$ Кл, соединены двумя изолирующими нитями длиной $l = 10$ см и $2l$ (рис. 176). Систему удерживают за середину длинной нити, а затем точку подвеса O начинают поднимать вверх с ускорением \vec{a} , равным по модулю ускорению свободного паде-



Р и с. 175



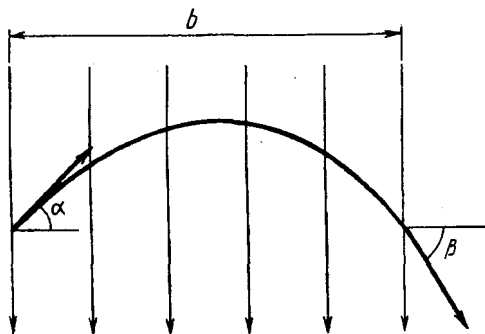
Р и с. 176

ния \vec{g} . Определить силу натяжения короткой нити, соединяющей шарики, во время их подъема.

560. Электрон, двигаясь в вакууме по силовой линии электрического поля, полностью теряет свою скорость между точками с разностью потенциалов $U = 400$ В. Определить, какой была скорость электрона, когда он попал в электрическое поле. Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

561. Какой путь по силовой линии проходит α -частица до полной остановки в однородном тормозящем электростатическом поле напряженностью $E = 2000$ В/м, если начальная скорость ее $v = 2 \cdot 10^7$ м/с. Заряд α -частицы положительный, $q = 3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл, ее масса $m = 6,67 \cdot 10^{-27}$ кг.

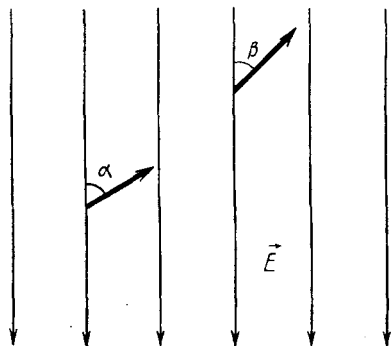
562. Частица, масса которой $m = 1 \cdot 10^{-4}$ кг и заряд $q = 1 \cdot 10^{-8}$ Кл, влетает в область однородного электростатического поля шириной $b = 0,1$ м под углом $\alpha = 45^\circ$, а вылетает под углом $\beta = 60^\circ$ (рис. 177). Определить начальную скорость частицы, если напряженность однородного поля $E = 1 \cdot 10^6$ В/м. Траектория частицы лежит в плоскости чертежа.



Р и с. 177

563. В плоский конденсатор влетает электрон со скоростью $v = 2 \cdot 10^7$ м/с, направленной параллельно обкладкам конденсатора. На какое расстояние от своего первоначального направления сместится электрон за время полета внутри конденсатора, если расстояние между пластинами $d = 2$ см, длина конденсатора $l = 5$ см и разность потенциалов между обкладками $U = 200$ В? Отношение заряда электрона к его массе $e/m_e = 1,76 \cdot 10^{11}$ Кл/кг.

564. Электрон влетает в однородное электростатическое поле напряженностью $E = 148 \text{ В/м}$ (рис. 178). В некоторый момент времени скорость электрона \vec{v} направлена под углом $\alpha = 60^\circ$ к силовым линиям поля и модуль ее $v = 2 \cdot 10^6 \text{ м/с}$. Найти угол β , под которым будет направлена скорость электрона через промежуток времени $\Delta t = 3 \cdot 10^{-8} \text{ с}$.

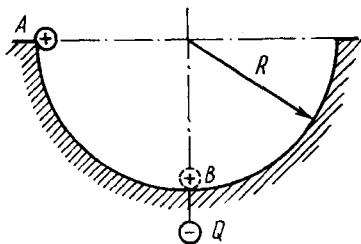


Р и с. 178

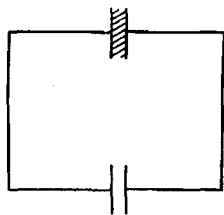
Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$, масса электрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$. Силой тяжести электрона пренебречь.

565. Шарик массой $m = 2 \text{ г}$, имеющий положительный заряд q , начинает скользить без начальной скорости из точки A по сферической поверхности радиуса $R = 10 \text{ см}$ (рис. 179). Потенциальная энергия взаимодействия заряда q и неподвижного отрицательного заряда Q в начальный момент $W_A = -2 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$. Определить потенциальную энергию взаимодействия зарядов, когда заряд q находится в точке B , если в этом случае результирующая сил реакции со стороны сферической поверхности и кулоновского взаимодействия, приложенная к шарикю, $F = 0,1 \text{ Н}$. Ускорение свободного падения считать равным 10 м/с^2 . Трением между шариком и сферической поверхностью пренебречь.

566. Два одинаковых плоских конденсатора, один из которых воздушный, а другой заполнен диэлектриком с диэлектрической проницаемостью ϵ , соединены, как показано на рис. 180, и заряжены до напряжения U . Какую



Р и с. 179



Р и с. 180

работу надо совершить, чтобы извлечь диэлектрическую пластинку из конденсатора? Емкость воздушного конденсатора равна C .

567. Атом неона ионизируется при столкновении с электроном, если энергия электрона $W = 21,6$ эВ (энергия ионизации). Длина свободного пробега электрона в неоновой лампе между двумя последовательными соударениями $l = 1$ мм. Расстояние между плоскими электродами лампы $d = 1$ см. Определить напряжение, при котором зажигается неоновая лампа (будет происходить процесс ионизации). Считать, что при ударе электрон полностью передает энергию атому неона. Заряд электрона $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, 1 эВ $= 1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж.

568. Стеклянная пластинка целиком заполняет зазор между обкладками плоского конденсатора, емкость которого при отсутствии пластинки равна C_0 . Конденсатор подключен к источнику постоянного напряжения U . Найти механическую работу, которую необходимо совершить, чтобы извлечь пластинку из конденсатора. Какую работу совершит при этом источник? Диэлектрическая проницаемость стекла равна ϵ .

569. Напряженность электростатического поля плоского воздушного конденсатора емкостью $C = 4$ мкФ $E = 10$ В/см. Расстояние между обкладками $d = 1$ мм. Определить энергию электростатического поля конденсатора и ее плотность.

570. Определить количество электрической энергии, перешедшей в теплоту при соединении одноименно заряженных обкладок конденсаторов емкостями $C_1 = 2$ мкФ и $C_2 = 0,5$ мкФ, заряженных до напряжений $U_1 = 100$ В и $U_2 = 50$ В соответственно.

571. На плоский воздушный конденсатор подается напряжение $U = 2,0$ кВ. Площадь каждой пластины $S = 0,24$ м², расстояние между ними $d_1 = 50$ мм. После зарядки конденсатор отключают от источника и затем раздвигают его обкладки так, что расстояние d_2 между ними становится равным 1,5 см. Определить работу, совершенную при раздвигании обкладок конденсатора.

572. Конденсатор емкостью C , заряженный до напряжения U , соединили параллельно с таким же незаряженным конденсатором. Определить изменение энергии системы после соединения.

573. Конденсатор емкостью $C = 100$ мкФ заряжают постоянным током через резистор, сопротивление которого

$R = 100 \text{ кОм}$. Через какое время после начала зарядки энергия, запасенная в конденсаторе, станет равной энергии, выделенной в резисторе?

9. ЗАКОНЫ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Методические указания к решению задач

При решении задач на расчет электрических цепей постоянного тока нужно начертить схему и внимательно проанализировать ее: выяснить, как соединены источники тока, резисторы, конденсаторы. Нередко заданную схему полезно начертить несколько иначе, чтобы получить новую схему, эквивалентную данной. При этом можно соединять и разъединять точки, имеющие равные потенциалы. На новой схеме надо выделить участки, где вид соединения проводников (параллельное, последовательное или их комбинации) стал очевиден. После этого используют формулы для расчета сопротивлений, а также закон Ома для участка цепи и для замкнутой цепи.

Необходимо учитывать, что постоянный ток через конденсатор не проходит. Если конденсатор в цепи постоянного тока соединен параллельно с резистором, то на конденсаторе такое же напряжение, как и на резисторе.

Расчет сложных разветвленных электрических цепей производят с помощью правил Кирхгофа, при этом действия следует выполнять в такой последовательности:

1) произвольно обозначить стрелками направления токов во всех участках цепи;

2) произвольно выбрать направления обхода контуров (по часовой стрелке или против);

3) составить систему уравнений согласно первому и второму правилам Кирхгофа, при этом: а) силы токов, входящих в узел, берутся со знаком «плюс», а силы токов, выходящих из узла, — со знаком «минус»; б) если направление тока совпадает с выбранным направлением обхода контура, то соответствующее произведение силы тока на сопротивление берется со знаком «плюс», если не совпадает, — со знаком «минус»; в) ЭДС следует брать со знаком «плюс», если при обходе контура приходится идти внутри